EPIQ IQC, PCE-I-00-96-00002-00, Task Order No.839

# Rapport sur le changement de la couverture forestière entre 1993/94 et 1999/2000 dans deux couloirs forestiers dans la partie orientale de Madagascar

*Prepared by:*
Ned Horning, Consultant

Projet d'Appui à la Gestion de l'Environnement
International Resources Group, Ltd.
1211 Connecticut Avenue, NW, Suite 700
Washington, DC 20036 USA

*Prepared for:*
USAID/Madagascar

February 2001

Environment Policy and Institutional Strengthening Indefinite Quantity Contact (EPIQ)
Partners: International Resources Group and Winrock International
Subcontractors: PADCO, Management Systems International, and Development Alternatives, Inc.
Collaborating Institutions: Center for Naval Analysis Corporation, Conservation International, KNB Engineering and Applied Sciences, Inc., Keller-Bliesner Engineering, Resource Management International, Inc., Tellus Institute, Urban Institute, and World Resources Institute

## Introduction

Cette étude sur la détection du changement de la couverture forestière a été effectuée pour déterminer le taux de changement de la couverture forestière dans deux zones prioritaires sélectionnées par l'USAID. La zone nord comprend le couloir forestier entre Mantadia et Zahamena et le couloir sud comprend le couloir forestier entre Ranomafana et Andringitra. La zone d' étude a été définie par le consultant à l'aide de l'imagerie satellitaire et un recouvrement des aires protégées. Aucune information complémentaire n' a été fournie, par conséquent il est possible que cette zone d' étude ne corresponde pas aux autres délinéations employées par l'USAID. Voir le Graphique 1 pour la localisation des couloirs.

## Description des séries de données utilisées

Les données Landsat Thematic Mapper (TM) (cartographie thématique Landsat) d'une résolution spatiale de 28,5 mètres ont été utilisées pendant les deux périodes pour le couloir nord. Pour le couloir sud, les données TM ont été utilisées durant la deuxième période et les données Landsat Multispectral Scanner (MSS) (balayeur multispectral Landsat) d'une résolution spatiale de 80 mètres mais recalibré à 60m ont été utilisées durant la première période. Les données MSS de moindre résolution ont été utilisées parce que les données TM appropriées n'avaient pas pu être commandées à temps. L' incorporation des données MSS dans cette étude en a certainement réduit l' exactitude, mais c' étaient les meilleures données disponibles compte tenu de la durée de l'étude. Le Tableau 1 donne les informations concernant les images satellites.

**Table 1 Informations sur les images satellites**

| Description de la position | Date d'acquisition | Trajectoire /ligne | Satellite (résolution) |
|---|---|---|---|
| Zahamana | 8 avril 1993 | 158 / 72 | Landsat TM (28,5m) |
| Zahamana | 19 avril 2000 | 158 / 72 | Landsat TM (28,5m) |
| Mantadia | 21 novembre1994 | 158 / 73 | Landsat TM (28,5m) |
| Mantadia | 19 avril 2000 | 158 / 73 | Landsat TM (28,5m) |
| Côté est du couloir sud | 30 août 1993 | 158 / 75 | Landsat MSS (80m) |
| Côté est du couloir sud | 11 novembre 1999 | 158 / 75 | Landsat TM (28,5m) |
| Côté ouest du couloir sud | 6 septembre 1993 | 159 / 75 | Landsat MSS (80m) |
| Côté ouest du couloir sud | 17 octobre 1999 | 159 / 75 | Landsat TM (28,5m) |

Toutes les images de 1999 et de 2000 ont été ortho-rectifiées à une exactitude publiée d'erreur quadratique moyenne de 50 mètres ou plus. Les autres images ont subi uniquement des corrections systématiques. Ceci a créé des problèmes de co-enregistrement parce qu' il n' était pas possible d'ortho-rectifier les images de 1993/94 ; ainsi on a pu seulement procéder à une simple

déformation de l'image sur la base des points de contrôle pour enregistrer les deux séries de données. Une explication détaillée est fournie dans la section sur les méthodes.

## Méthodes

Dans la présente étude, la forêt a été définie globalement comme une zone d' arbres de plus de 7 mètres de hauteur avec une fermeture de la cime supérieure à 30%. Etant donnée qu'aucune donnée de vérification sur le terrain n' était disponible, cette définition de la forêt a été globalement appliquée en utilisant les méthodes visuelles basées sur l' expérience du consultant. Seules deux classes ont été utilisées, à savoir forêt et non forêt. Sans les données complémentaire, il n'était pas possible d'obtenir une exactitude suffisante si plus de classes ont été utilisées (par exemple forêt secondaire). En raison de l'intervalle relativement court séparant les deux périodes considérées dans cette étude, les seules classes de changement identifiées étaient : forêt à forêt, non-forêt à non-forêt, forêt à non-forêt, et zone obscurcie. La classe de changement non-forêt à forêt n' a pas été identifiée parce qu'on a supposé que la détection d' une telle classe ne pourrait pas être fiable. En outre, de part l' expérience du consultant, la présence d' une importante zone de cette classe est peu probable. La classe "obscurcie" comprenait les zones qui étaient couvertes de nuages ou d'ombre. Les zones obscurcies n' ont pas été utilisées pendant l' analyse.

Le progiciel ENVI (Research Systems Inc., Boulder, Colorado) a été utilisé pour tous les traitements et les visualisations. Il s'agit d'un système de traitement d' image puissant capable d'effectuer toutes les tâches requises par l'étude.

Deux types d' images ont été créés pendant l'étude. La première était une image de couverture forestière qui a été utilisée pour obtenir la zone couverte par la forêt dans les deux zones d' étude durant la période 1993/94. L' autre image était une image de changement montrant les zones dont la classe a changé de forêt à non-forêt. Bien qu' il soit possible (et parfois préférable) de créer seulement une image de changement puisqu'elle donne les quatre classes de changement (forêt à forêt, non-forêt à non-forêt, forêt à non-forêt, et obscurcie), on a décidé qu'un résultat plus précis pouvait être obtenu en utilisant les images de couverture forestière et de changement forestier compte tenu du délai limité pour l'analyse. La logique de cette décision était qu' une classification plus précise de la couverture forestière pourrait être déterminée en utilisant une image d'une seule période, et que la classe de changement forêt à non-forêt pourrait être tracée plus facilement et plus précisément si c' était la seule classe d' intérêt en utilisant l' image multipériode.

La carte de couverture forestière a été créée sur la base des méthodes de classification dirigées en utilisant les images TM acquises en 1999/2000. Ces images ont été utilisées parce qu'elle sont de très haute qualité. Pour calculer la couverture forestière pour la période 1993/94, la zone de classe de changement forêt à non-forêt a été ajoutée à la classe de couverture forestière pour chaque position d' image.

Pour créer l' image de la forêt, une série de zones de formation (échantillons provenant de l' image satellite) représentant les classes forêt, non-forêt, et obscurcies ont été tracées visuellement.

Ensuite, ces zones de formation ont été intégrées dans un algorithme de maximum de vraisemblance, dont le résultat était une image de forêt, de non-forêt, et de zone obscurcie. L'exactitude de l'estimation forestière est probablement de l'ordre de +/- 10 % à un niveau de confiance de 95%. Cette estimation est basée uniquement sur l'expérience du consultant et non sur une évaluation fiable de l'exactitude.

La création de l'image du changement de couverture forestière a été faite en plusieurs étapes, à savoir:

- Pré-traitement des images pour la créations d'images paires
- Choix des sites de formation et réalisation d'une classification dirigée
- Elimination de tous les groupes de pixels de moins de 9 pixels
- Mise à jour de la classe obscurcie pour inclure uniquement les pixels visibles sur les deux périodes
- Mosaïquage d'images de changement et de couverture forestière pour chaque couloir
- Calcul des statistiques et production des résultats

# Pré-traitement des images

Avant de commencer l'analyse, les images ont dû être prétraitées pour les intégrer dans la projection Oblique Mercator qui est utilisée dans tout Madagascar, et pour les co-enregistrer afin de minimiser les décalages d'image à image. Les images de 1999 et de 2000 ont servi d'images de référence puisqu'elles ont été ortho-rectifiées et présentent des niveaux d'erreurs acceptables. Les images de la première période (1993/94) ont été enregistrées sur les images de 1999/2000 en sélectionnant uniquement les points qui étaient visibles sur les deux images, et en déformant ensuite l'image de la première période pour l'adapter à l'image de la deuxième période. Une déformation polynôme du deuxième degré a été appliquée. Ceci a produit une adaptation d'image à image d'assez bonne qualité, cependant les erreurs de position étaient plus élevées par rapport à d'autres études du même type. Ces erreurs sont dues au fait que les images de 1999/2000 ont été corrigées en utilisant des données tridimensionnelles (un modèle numérique d'altitude) suivies d'une projection non linéaire (UTM à Oblique Mercator) alors que le consultant s'est servi d'un processus de déformation qui utilisait uniquement des données bidimensionnelles. Une solution à ce problème aurait été d'ortho-rectifier les images de la première période par le même procédé utilisé pour les images de la deuxième période, mais ceci n'était pas possible en raison des contraintes de temps.

Les images des deux périodes pour chaque site (trajectoire/ligne) ont été ensuite combinées en une image multi-période. Par exemple, lorsque les deux images étaient toutes les deux des images TM, l'image obtenue avait 12 bandes, dont 6 bandes de l'image de la première période et 6 bandes de l'image de la deuxième période. Seules les bandes TM 1.2.3.4.5.7 ont été utilisées. Pour la combinaison TM/MSS, les données MSS étaient recalibrées à une taille de pixel de 28,5 mètres en utilisant le recalibrage le plus proche. Etant donné que les images MSS ont seulement quatre bandes, l'image multi-période ainsi obtenue avait 10 bandes (6 de l'image TM et 4 de l'image MSS). Ainsi, 4 images multi-période étaient disponibles, une pour chaque position de trajectoire/ligne .

## Choix des sites de formation et réalisation de la classification dirigée

Des méthodes de classification dirigées normalisées ont été employées pour la classification des différentes classes de changement.

Les sites de formation sont des régions (généralement de 100 pixels ou plus) sur l'image satellite qui représente une classe particulière telle que forêt à forêt. Les sites de formation sont utilisés pour produire des statistiques employées pour identifier tous les pixels de l'image. Par exemple, si un site de formation est choisi pour représenter la classe forêt à forêt, alors les statistiques de ce site de formation sont employées pour identifier d'autres pixels forêt à forêt sur l'image satellite. Une fois qu'on a choisi suffisamment de sites de formation pour représenter convenablement les classes que l'on veut produire, un algorithme est exécuté pour classifier chaque pixel de l'image satellite.

Après chaque opération, les résultats sont inspectés. Ensuite, si des sites de formation doivent être ajoutés ou retirés, l'algorithme de classification est réexécuté. Ce processus est répété jusqu'à ce que l'on obtienne un résultat acceptable. Le résultat de la classification dirigée était une image dont chaque pixel est classifié dans une des classes de changement.

Au début de cette étude, il a été envisagé que le consultant inspecterait visuellement la classification, et modifierait ensuite manuellement la classe forêt à non-forêt pour corriger les erreurs de classification. Malheureusement, faute de temps, ceci n'a pas pu être fait pour les deux couloirs. Ainsi, aucun ajustement n'a été fait sur les résultats de classification informatisée.

## Elimination des petits groupes de pixel

En raison des erreurs inhérentes à ce genre d'analyse d'image satellite, il est d'usage de post-traiter l'image classifiée en éliminant les petits groupes de pixels qui sont probablement dus à une erreur de classification. Ces erreurs sont généralement dues au fait que les images ne sont pas co-enregistrées à la perfection. Pour cette étude, un algorithme a été utilisé pour éliminer tous les groupes inférieurs ou égaux à 9 pixels reliés. L'algorithme prenait en compte les 8 pixels adjacents (pixel directement au-dessus, au-dessous, à gauche, à droite, et sur les angles) pour déterminer si un pixel était relié ou non à un autre.

## Mise à jour de la classe obscurcie

Les classes obscurcies de l'image de couverture forestière et l'image de changement forestier ont été mises à jour pour qu'elles soient identiques sur les deux images. Ceci a été réalisé en combinant les classes obscurcies des images de couverture forestière et de changement forestier, et en remplaçant ensuite la classe obscurcie initiale par la classe combinée. Ceci permettait d'assurer que seuls les pixels non classifiés comme obscurcis sur la carte forestière ou la carte de changement ont été inclus dans l'analyse.

### Mosaïquage d'images

Lorsque les résultats de classification sont obtenus, les images dans un couloir sont mosaïquées pour créer une image continue pour chaque couloir. Malheureusement, la partie nord de l'image sud du couloir Zahamena - Mantadia a été tronquée, créant ainsi un écart entre les images nord et sud. Cet écart est évident sur le Graphique 1. Dans le couloir Ranomafana – Andringitra, on a observé une superposition importante entre les deux images, et le consultant a pris la décision de faire primer l'image Est sur l'image Ouest durant le mosaïquage. En d'autres termes, dans la partie de la mosaïque qui se superpose, l'image Est recouvre l'image Ouest.

### Calcul des statistiques

La dernière étape consistait à calculer les statistiques pour chaque couloir. Etant donné que les dates des images de la première et de la deuxième période étaient différentes pour chaque paire d'image, un masque a été créé pour identifier l'image à utiliser pour créer les différentes parties de la mosaïque. Ceci a permis d'obtenir des statistiques pour chaque paire d'images en recouvrant l'image de couverture forestière et l'image de changement forestier par les masques respectifs. Les statistiques ont été également calculées pour les côtés est et ouest de chaque couloir en utilisant un masque créé en rapprochant visuellement un axe nord-sud à travers chaque couloir.

La formule suivante a été employée pour calculer le taux de changement de forêt à non-forêt:
Calculer pour chaque image:

% de Perte forestière = Perte forestière / Forêt T1 * 100

Perte forestière annuelle = % Perte forestière / (2ème période – 1ère période [nombre de jours]) / 365)

% Perte annuelle pondérée = Perte forestière annuelle * (Forêt T1 / Somme de forêt T1 pour les deux images)

Pour la perte forestière moyenne dans le couloir:

Perte forestière annuelle moyenne = somme des % de pertes annuelles pondérées pour les deux images

# Note: T1 = première période

### Résultats

Les résultats de cette étude sont présentés aux Tableaux 2 à 7. L'exactitude des résultats de cette étude n'a pas pu être évaluée avec des méthodes fiables, principalement en raison des contraintes de temps. Cependant, sur la base de l'expérience du consultant, on estime que les résultats pour

le couloir nord (Zahamena –Mantadia) soient mieux que +/- 15% à un intervalle de confiance de 95% (voir Tableau 8). Pour le couloir sud (Ranomafana – Andringitra), les erreurs sont estimées être mieux que +/- 20% à un intervalle de confiance de 95% (voir Tableau 9). L'exactitude moindre observée dans le couloir sud résulte de la combinaison des données de TM et de MSS. Il est suggéré de poursuivre cette étude afin de valider et améliorer ces résultats.

**Tableau 2 Récapitulatif du couloir Zahamena – Mantadia**

| NF => NF $Km^2$ | F => F $Km^2$ | F => NF $Km^2$ | Obscurcie $Km^2$ | Total F => NF | F => NF pondéré/an |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.287,39 | 4.873,51 | 108,56 | 364,06 | 2,18% | 0,36% |

**Table 3 Côté ouest du couloir Zahamena – Mantadia**

| NF => NF $Km^2$ | F => F $Km^2$ | F => NF $Km^2$ | Obscurcie $Km^2$ | Total F => NF | F => NF pondéré/an |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.487,70 | 2.741,71 | 56,14 | 56,96 | 2,01% | 0,32% |

**Table 4 Côté est du couloir Zahamena – Mantadia**

| NF => NF | F => F | F => NF | Obscurcie | Total F => NF | F => NF pondéré/an |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.799,69 $Km^2$ | 2.131,80 $Km^2$ | 52,41 $Km^2$ | 307,10 $Km^2$ | 2,40% | 0,41% |

**Tableau 5 Récapitulatif du couloir Ranomafana – Andringitra**

| NF => NF | F => F | F => NF | Obscurcie | Total F => NF | F => NF pondéré/an |
|---|---|---|---|---|---|
| 2.589,96 $Km^2$ | 2.158,98 $Km^2$ | 78,70 $Km^2$ | 1,049,19 $Km^2$ | 3,52% | 0,57% |

**Tableau 6 Côté ouest du couloir Ranomafana – Andringitra**

| NF => NF | F => F | F => NF | Obscurcie | Total F => NF | F => NF pondéré/an |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.575,27 $Km^2$ | 1.268,29 $Km^2$ | 36,46 $Km^2$ | 425,69 $Km^2$ | 2,79% | 0,45% |

**Tableau 7 Côté est du couloir Ranomafana – Andringitra**

| NF => NF | F => F | F => NF | Obscured | Total F => NF | F => NF pondéré/an |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.014,70 $Km^2$ | 890,69 $Km^2$ | 42,24 $Km^2$ | 623,50 $Km^2$ | 4,53% | 0,83% |

**Tableau 8 Estimations d'erreur pour le couloir Zahamena – Mantadia à une intervalle de confiance de 95%**

| Total F => NF + 15% | Total F => NF - 15% | F => NF pondéré/an + 15% | F => NF pondéré/an – 15% |
|---|---|---|---|
| 2,51 $Km^2$ | 1,85 $Km^2$ | 0,41 $Km^2$ | 0,30 $Km^2$ |

**Tableau 9 Estimations d'erreur pour le couloir Ranomafana – Andringitra à une intervalle de confiance de 95%**

| Total F => NF + 20% | Total F => NF - 20% | F => NF pondéré/an + 20% | F => NF pondéré/an – 20% |
|---|---|---|---|
| 4,22 $Km^2$ | 2,81 $Km^2$ | 0,69 $Km^2$ | 0,46 $Km^2$ |

## Conclusion

Les résultats de cette étude donnent les taux de déboisement dans deux couloirs forestiers à Madagascar. Les méthodes employées pour la partie d'interprétation satellite de cette étude sont fiables et peuvent être appliquées en utilisant un ou plusieurs différents modules de traitement d' images. Il existe plusieurs autres options pour classifier les images satellites en classes de changement de couverture forestière. Les méthodes employées dans cette étude ont été choisies principalement en raison des contraintes de temps liées à ce projet. Si l'on avait disposé de plus de temps, on aurait probablement employé d' autres méthodes. Néanmoins, la validation des résultats de classification est plus importante que la méthode de classification. Si des estimations plus exactes sont nécessaires, il est impératif de réaliser une phase de vérification fiable sur le terrain. L'absence de cette composante dans cette étude a affecté négativement l' exactitude des résultats.

Les résultats de cette étude devraient être considérés comme des résultats préliminaires. Un effort devrait être fourni pour améliorer les travaux accomplis.
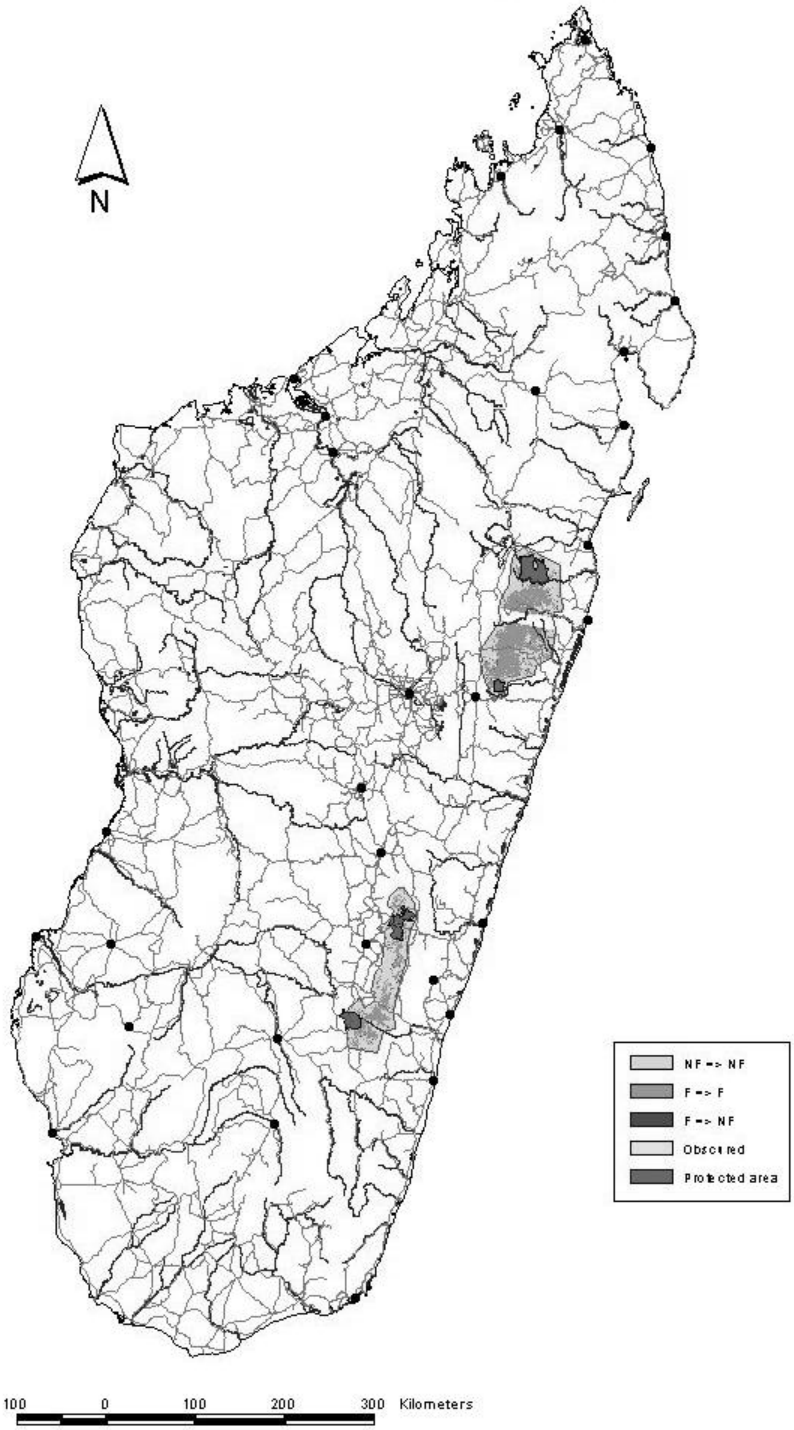
Figure 1: Forest cover change study areas